云　南　植　物　研　究　2009，31 (1)：8～14
Acta Botanica Yunnanica　DOI：10.3724 SP.J.1143.2009.07329

青阳参花部特征及其传粉适应性

王定康[1,2]，孙桂芳[3]，翟书华[2]，郭丽红[2]，萧凤回[1]
(1 云南农业大学中药材研究所 云南省中药材规范化种植技术指导中心，云南 昆明　650201；
2 昆明学院生物系，云南 昆明　650031；3 昆明医学院技能中心，云南 昆明　650031)

摘要：对青阳参花 (*Cynanchum otophyllum*) 部综合特征、访花昆虫种类、访花行为及传粉过程进行了研究，结果表明，青阳参花结构复杂，两个子房基部离生、花柱联合与雄蕊形成合蕊柱，柱头表面被邻近花药的侧翼紧密包围形成5个柱头腔。青阳参的花粉形成独特的花粉块，一次传粉过程可以转运大量的花粉。东方蜜蜂 (*Apis cerana*) 是青阳参的主要传粉昆虫，其传粉包括两个过程：(1) 当蜜蜂的口器或足插入着粉腺的槽口后借助蜜蜂的力量将花粉块从花上拔起；(2) 当蜜蜂再次访花时将携带的花粉块插入其中一个柱头腔。花粉块里面的花粉粒在柱头腔中萌发出花粉管，然后沿着花柱道向下生长最后进入子房。在整个花期花粉保持有相对较高的生活力，而其柱头可授性则在7天后逐渐降低。

关键词：青阳参；花部结构；访花昆虫；传粉
中图分类号：Q 944　　**文献标识码**：A　　**文章编号**：0253-2700 (2009) 01-008-07

The Floral Syndrome and Its Pollination in *Cynanchum otophyllum* (Asclepiadaceae)

WANG Ding-Kang[1,2]，SUN Gui-Fang[3]，ZHAI Shu-Hua[2]，GUO Li-Hong[2]，XIAO Feng-Hui[1**]
(1 *Institute of Chinese Medicinal Materials of Yunnan Agricultural University*，*Yunnan Provincial Center for Chinese Medicinal Material GAP Technology*，Kunming 650201，China；
2 *Biology Department*，*Kunming University*，Kunming 650031，China；
3 *Skill Center*，*Kunming Medical College*，Kunming 650032，China)

Abstract：This paper studied on the floral syndrome of *Cynanchum otophyllum*，visiting insects and their foraging behavior. The results showed that the floral morphologies were complex. Two separate ovaries were united by their styles to form a gynostegium with anthers. The stigmatic surfaces were enclosed by the tightly abutting wings of adjacent anthers to produce five stigmatic chambers. *C. otophyllum* possessed pollinia，which permited the transfer of hundreds of pollen grains at a time. Honeybees (*Apis cerana* Fabricius) were primary pollinators. The process of *C. otophyllum* pollination was：(1) removal of a pollinarium：when the groove in the corpusculum catched on mouthparts or legs of honeybees and was forcibly pulled from the flower，and (2) insertion of a pollinium：when a pollinium lodged in a stigmatic chamber. Following successful insertion，the pollens germinated within the stigmatic chamber and pollen tubes subsequently grew down the stylar canal and finally entered the ovaries. The durable covering of pollinia allowed a long residence time on pollen viability，so the pollen could remain a relatively high viability in the flower period. Stigma receptivity，however，decreased gradually over the seven-day life span of flowers.

Key words：*Cynanchum otophyllum*；Floral structure；Visiting insects；Pollination

---

基金项目：云南省应用基础研究计划项目 (2007C262M)；云南省教育厅科研基金重点项目 (07Z10351)；云南省中药现代化重点项目 (2002ZY-24)
通讯作者：Author for correspondence；E-mail：fenghuixiao@163.com
收稿日期：2008-02-11，2008-05-05 接受发表
作者简介：王定康 (1966-) 男，博士，教授，研究方向：药用植物繁殖生物学。E-mail：wdk117@163.com

植物花的综合特征（Floral syndrome）包括两个方面：花设计（Floral design）和花展示（Floral display）。花设计主要包括花的结构、颜色、气味、分泌物质类型及其产量等单个花的所有特征；而花展示是指花在某时间开放的数量、花在花序上的空间排列状况、个体花期和种群花期等，是花在个体和种群水平上的表现特征（Barrett，1998；黄双全和郭友好，2000）。有花植物的传粉模式通过花部的形态特征及其与传粉者的相关性而得以体现（赖家业等，2007）。植物花的形态结构、传粉方式以及传粉的适应性等方面是传粉生物学研究的热点问题。在有花植物中，低结实率可能是由于资源利用效率较低、没有足够的花粉到达柱头和花或种子被侵食所致（Campbell and Halama，1993）。

青阳参（*Cynanchum otophyllum* Schneid）隶属萝　科（Asclepiadaceae）鹅绒藤属（*Cynanchum*），为我国特有的一种药用植物。具有祛风除湿、解毒镇痉、补气益肾、强筋壮骨、活血散淤、祛痰止咳、解狂犬毒等功效（罗天诰，1994），主要分布于湖南、广西、云南、西藏，是云南省彝族、白族、纳西族等民族共同用药和云南临床上常用的草药，是生产“青阳参片”和“排毒养颜胶囊”的主要原料。很多地方对青阳参的野生资源进行无序采挖，造成资源破坏严重，野生资源已越来越不能满足人们的需要，亟待进行资源保护。青阳参花两性，在自然条件下的坐果率很低，约为 2.21%，成为制约以种子繁殖为主的青阳参种植业发展的瓶颈。本研究在对青阳参花部综合特征和访花昆虫种类及访花行为进行研究的基础上，探讨其花部特征与传粉的关系，为揭示该物种的传粉机制与结实率的关系、制定有效的保护措施和发展生产提供科学依据。

1　材料与方法

1.1　研究地点自然概况

研究地点位于云南省宣威市龙场镇阿直村的一个青阳参自然居群，地理坐标为东经 104°09′，北纬 26°11′，海拔在 1 800～2 000 m 之间，属亚热带气候，年平均温度 14.1℃，冬无严寒、夏无酷暑，年降雨量约 980 mm。土壤以沙壤土和红壤土为主，周围的伴生植物主要是一些灌木丛植物和农作物，在该研究地点大约有 500 株青阳参植株。

1.2　花期及花部结构的观察

花蕾期，用彩色标牌标记花期相近的健壮青阳参植株的花 20 朵。自然条件下每天观察一次花蕾，花朵开放当天，每隔 2～3 h 观察 1 次，花朵开放之后，每天观察 1 次，记录花朵形状、泌蜜情况、单花开放持续时间、花开和凋谢的先后顺序等。除肉眼观察外，取下部分花朵在 FAA 固定液中固定，爱氏苏木精整体染色，常规石蜡切片法制片，切片厚度 8～10 μm，BX60 Olympus 显微镜下观察并摄影。扫描电镜样品用戊二醛和锇酸双固定，脱水后醋酸异戊酯置换，离子溅射镀金膜，JEM-100CX 型扫描电镜观察并照相。

1.3　花粉 胚珠比（P O）和花粉活力的测定

花粉 - 胚珠比的估算：按 Wyatt 等（2000）的方法进行。实验中由于培养 3 h 时具有活力的花粉其花粉管均已萌发至 1～3 mm 长，且花粉管还没有缠在一起，为便于计数，因此每次取 1 个培养 3 h 的花粉块进行实验。

花粉活力测定：取开花后不同天数的花，分别装入磨口瓶密封带回实验室。按胡适宜（1993）的方法配制培养基。用解剖针小心将不同花期的花粉块取下放入凹面载玻片上，滴入 2～3 滴 B 培养基，将载玻片放入装有湿滤纸的培养皿中，置于 25℃的恒温培养箱中暗培养。3 h 后取出花粉块放入另一载玻片上并滴加 2 滴 0.1% 的 NaOH 溶液使花粉块壁溶解，压片并在显微镜下观察统计。不同发育时期的花各取 5 朵，共计观察 50 个花粉块。花粉萌发率（%）=（已萌发的花粉数目 花粉粒总数）×100%。

1.4　柱头可授性检测

用联苯胺 - 过氧化氢法测定柱头可授性（Dafni，1992）。具体方法：每天 10：00～14：00，采下开花后不同天数的花朵，在解剖镜下小心将子房剥离出来浸入凹面载片中含有反应液（1%联苯胺∶3%过氧化氢∶水 = 4∶11∶22，体积比）的凹陷处。若柱头具可授性则周围的反应液呈现蓝色并有大量气泡出现，根据气泡的多少和大小判断柱头可授性的相对强弱。

1.5　访花昆虫种类和行为的观察

连续 2 年（2006 年和 2007 年）观察并记录青阳参的访花者种类和访花行为。每年各连续观察 5 d，每天从上午 8：00 观察到下午 6：30，并收集部分访花昆虫用于分类鉴定和检验是否带有花粉块以及花粉块的附着位置。在进行其他田间试验时也对访花昆虫的种类和行为进行观察。

1.6　青阳参花部结构与传粉的关系

通过人工辅助授粉试验结合对传粉昆虫传粉行为的观察，对青阳参花部结构与传粉的关系进行研究。人工辅助授粉试验：选取一株植株上当天开的花作母本，另

一株20 m外的当天开的花作父本，用解剖针取下父本花的花粉块，分别将花粉块放置在母本植株花朵的合蕊柱上和插入花药裂口，并套袋予以保护。至少2 d后将人工辅助授粉的花朵取下并在FAA固定液中固定72 h，按常规石蜡切片法切片，将切片在0.5%苯胺蓝溶液中染色30 min后置于BX60 Olympus荧光显微镜下对人工辅助授粉的花粉块是否萌发及花粉管的走向进行观察。

2 实验结果

2.1 花期和花部结构

青阳参单花期一般为7 d，开花时先是其中1片花瓣打开，接着其它4片花瓣陆续打开，到所有花瓣的尖端都向外略有弯曲时花完全开放，开放过程一般在上午完成，到第5 d下午，花冠的颜色从浅绿色逐渐变为黄白色，是青阳参单花开始衰老的标志，第6 d花瓣呈直立状态并逐渐萎蔫变成棕黄色，第7 d整朵花全部脱落。受精的花花期比未受精的短1～2 d，除受精的心皮留下外其它全部脱落。从花冠部分打开到花冠开始衰老期间有大量的蜜汁分泌，传粉昆虫一般在此期间访花，因此，这段时间可被认为是青阳参单花的有效繁殖期，约4～5 d。

青阳参具有腋生的聚伞型花序和较长的总花梗，花被由5个花萼和5个花瓣组成，花萼基部各有一个腺体（图1：A），作为传粉者报酬的蜜汁就由腺体分泌，花萼外被绒毛；花瓣浅绿色，内面被绒毛。青阳参花最显眼的部分是副花冠(corona)，其为膜质、杯状或桶状，从合蕊柱(gynostegium)的基部长出且在基部包围着合蕊柱，顶部高出合蕊柱（图1：B)。合蕊柱由肉质的柱头和雄蕊在花的中央联合形成，柱头的顶端有2裂（图1：C)。雌蕊由两个心皮组成，两个心皮基部离生，但其顶部的花柱及柱头连在一起，柱头的表面被包围在相邻花药之间的柱头腔内（图1：D)；雄蕊5个，其花丝联合形成一个柱状结构，花药2室，在顶端有透明的向外长出的附属物（appendage）部分地盖着合蕊冠，每个花粉囊里装有一个花粉块（pollinium）（图1：C)，花粉块卵圆状、下垂，每个花粉块由蜡状的壁包裹着花粉粒。成对的花粉块由2个转运臂(translator arms）分别连接到一个棕色、管状的位于花药裂口顶部的着粉腺（corpusculum）上，着粉腺表面有一个从底部到顶部逐渐变窄的槽(groove)（图1：E)。因此，青阳参完整的传粉单位包括两个花粉块、两个转运臂和一个着粉腺。在两个相邻花药角质化的边缘处形成一个狭窄的裂口（slit）通向柱头腔（stigmatic chamber)，连接着来源于两个相邻花药的花粉块的着粉腺位于裂口的上部（图1：F)。

2.2 花粉 胚珠比（P O）和花粉活力

从表1可看出，青阳参的花粉-胚珠比为6.82，与其它异花授粉植物相比，青阳参的花粉-胚珠比非常低。

表1 青阳参的花粉-胚珠比

Table 1 Pollen-ovule ratio of *Cynanchum otophyllum*

观测项目 Items of observation	结果 Results
每花花粉数量 Pollen number per flower	881.6±45.18（$p=0.002$)
每花胚珠数目 Ovule number per flower	130±10.42（$p=0.005$)
花粉-胚珠比 Pollen-ovule ratio	6.82±0.686（$p=0.001$)

青阳参的花粉在花凋谢前一直保持有较高的生活力，从开花当天到第4 d的花粉活力一直保持在90%以上，即便到了花完全脱落的当天花粉生活力仍能保持在80%以上（图2)。

2.3 青阳参柱头可授性检测结果

从表2可见青阳参花的柱头从开花当天起到花凋谢时均具有可授性，但开花当天至第4 d柱头可授性较强，具强过氧化物酶活性，第4 d后可授性则逐渐减弱。

表2 青阳参柱头可授期的联苯胺-过氧化氢法检测结果

Table 2 Stigma receptivity test of *Cynanchum otophyllum* by benzidine-H_2O_2

开花日期 Date of Blooming (d)	1	2	3	4	5	6	7
柱头可授性 Stigma receptivity	+++	+++	+++	+++	++	++	+

注：+：示柱头具可授性；++：示柱头具较强可授性；+++：示柱头具强可授性

Note: +: means stigmas have receptivity; ++: means stigmas have high receptivity; +++: means stigmas have higher receptivity

2.4 青阳参的访花者种类和访花行为

连续两年对青阳参进行访花昆虫种类调查，

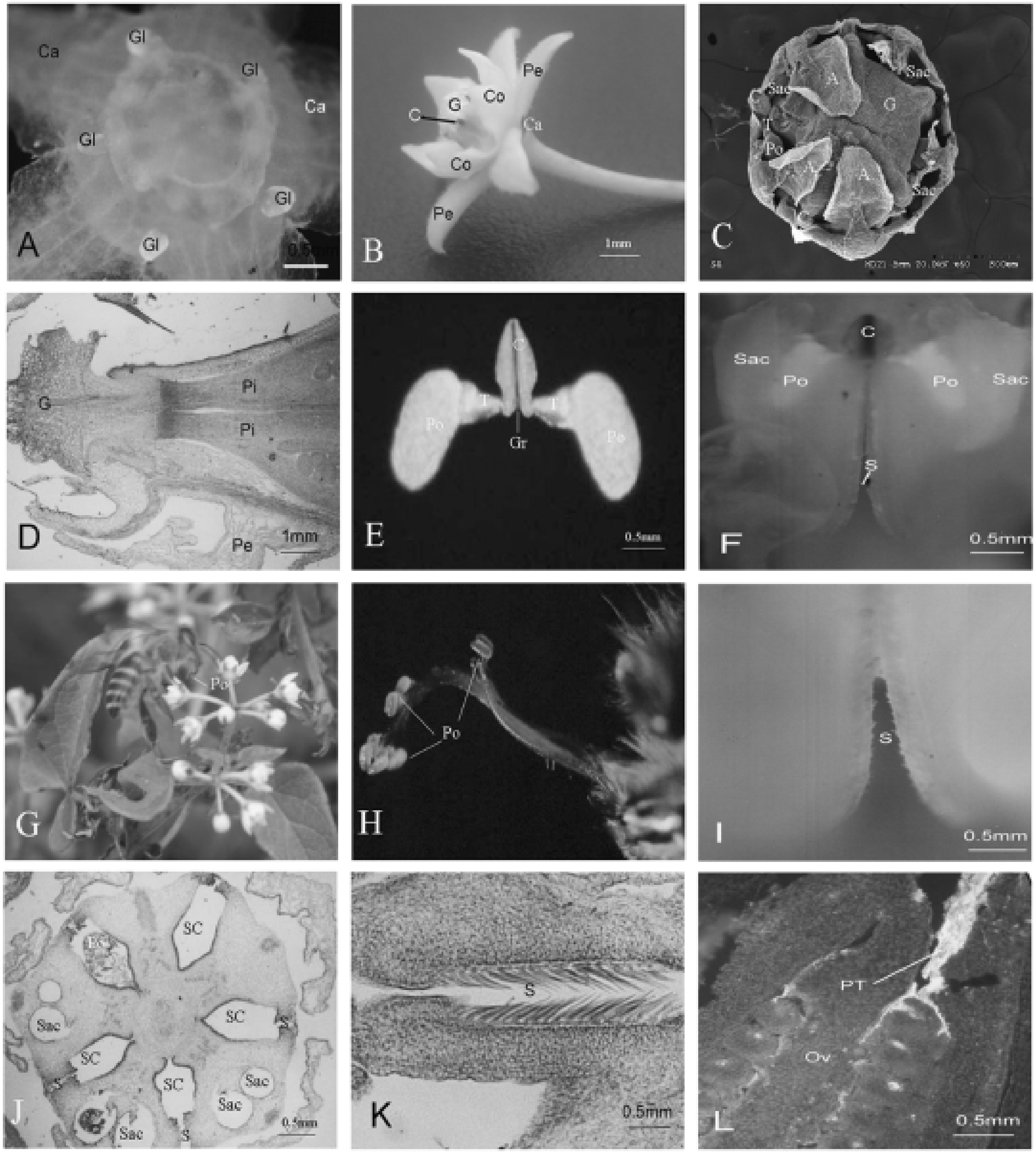

图 1 青阳参花结构和传粉

A：荧光显微照片示位于花萼基部的腺体；B：单花侧面观示青阳参花的花萼、花冠、合蕊柱、副花冠和着粉腺；C：扫描电镜观察合蕊柱顶面示花粉囊、花粉块、花丝附属物及合蕊柱顶部的裂口；D：纵向切片示两个心皮基部离生，但其顶部连在一起并被包围在相邻花药之间的柱头腔内；E：花粉块由一个着粉腺通过 2 个转运臂连接；F：荧光显微照片示来源于两个相邻花药的花粉块的着粉腺位于花药裂口的上部；G：蜜蜂离开花时其口器将花粉块拔出；H：蜜蜂口器上带有 4 个花粉块；I：荧光显微照片观察示花药裂口基部有所扩大；J：横向切片示人工通过花药裂口插入柱头腔的花粉块萌发，花粉管向柱头方向生长；K：纵向切片示花药裂口处的刺毛；L：纵向切片示花粉管沿花柱道向下生长进入子房并沿着胚珠表面生长最后进入胚珠。

Ca．花萼；Gl．腺体；Pe．花冠；G．合蕊柱；Co．副花冠；C．着粉腺；A．花药附属物；Po．花粉块；T．转运臂；Sac．花粉囊；Pi．心皮；Gr．着粉腺槽口；S．花药裂口；SC．柱头腔；Ov．胚珠；PT．花粉管。

Fig. 1 Floral structure and pollination of *Cynanchum otophyllum*

A: Flourescence microscope picture showing the glands at the base of the calyx; B: Side view of the flower; C: Top view of the gynostegium by SEM; D: Longitudinal section showing the gynostegium consists of two pistils that are attached to the gynostegium at the point of connection between the narrow style and the stigma head; E: The entire pollination unit (two pollinia, two translator arms and a corpusculum); F: Flourescence microscope picture showing the corpusculum joining adjacent pollinia of different anthers is seated directly above the slit; G: When a honeybee leaves, the pollinia are pulled from their sacs and the entire pollinarium is carried away; H: Four pollinia attached on the mouthparts; I: The enlarged lower end of the anther slit by flourescence microscope; J: Cross section showing the pollen tubes emerge from the pollinium inserted by hand and grow to the style; K: Longitudinal section showing the short bristles beneath the edges of the anther slit; L: Longitudinal section showing the pollen tubes subsequently grow down the stylar canal and finally enter the ovary.

Abbreviations: Ca. calyx; Gl. gland; Pe. petal; G. gynostegium; Co. corona; C. corpusculum; A. appendage of anther; Po. pollinia; T. translator arms; Sac. anther sac; Pi. pistil; Gr. groove; S. anther slit; SC. stigmatic chamber; Ov. ovule; PT. pollen tube.

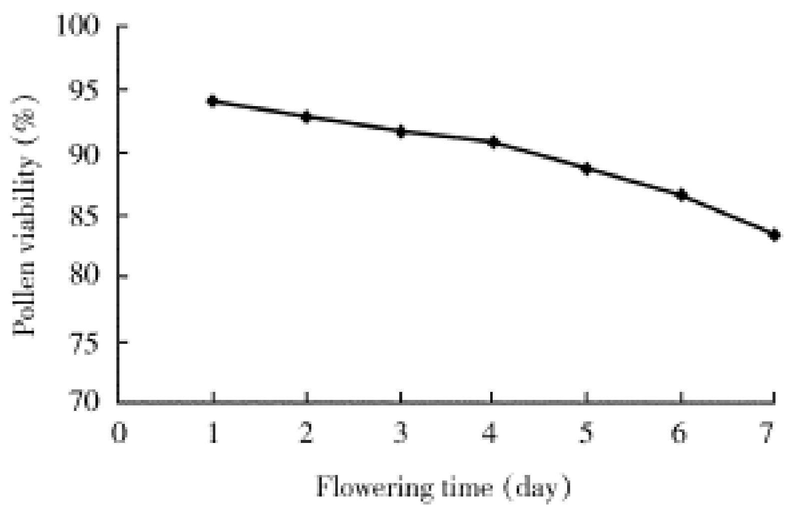

图2　青阳参的花粉活力变化

Fig.2　Pollen viability of *Cynanchum otophyllum*

经鉴定，青阳参访花昆虫约有12种，主要有膜翅目（Hymenoptera）的东方蜜蜂（*Apis cerana*）、常见黄胡蜂（*Vespula vulgaris*）、日本弓背蚁（*Camponotus japanicus*）、钳弓背蚁（*Camponotus selene*）、陆马蜂（*Pollistes rothneyi* Grahami）、苹三节叶蜂（*Arge mali*），双翅目（Diptera）的红头丽蝇（*Calliphora erythocephala*），鞘翅目（Coleoptera）的高雄槽缝叩甲（*Agrypnus yraiensis* (Miwa)）、七星瓢虫（*Coccinella septempunctata*）、六斑月瓢虫（*Menochilus sexmaculatus* (Fabricius)），半翅目（Hemiptera）的红角辉蝽（*Carbula crassiventris* (Dallas)）和鳞翅目（Lepidoptera）的大绢斑碟（*Parantica sita*）。大多数昆虫主要是采吸蜜汁或仅仅停留在花上，经检验只有东方蜜蜂（*Apis cerana*）才带有青阳参的花粉块，是青阳参的主要传粉昆虫。东方蜜蜂有目的的在同一植株的花间采集蜜汁然后又飞向另一植株，在晴天单花访花时间约3.6 s (n=52，s.d=0.45)。当蜜蜂停留在花上时，用脚抓住副花冠（corona）并将其口器通过副花冠顶部插入花的基部吸取蜜汁。蜜蜂的数量和访花的数量都多于其它昆虫。胡蜂和马蜂的数量较少，单花访花时间分别约为3.1 s (n=25，s.d=0.36) 和3.2 s (n=21，s.d=0.39)，但当其访花时蜜蜂则避之。甲虫、蚂蚁和金龟子等昆虫访花时间相对较长，但它们只是吸取蜜汁，身上不带有花粉块。在阴雨天，所有访花昆虫的数量及其访花频率都降低，尤其是下雨的时候，基本见不到蜜蜂、胡蜂和马蜂访花。

2.5　青阳参花部结构与传粉的关系

青阳参花部结构较为复杂，虽然在其合蕊柱的顶端有裂口，但将花粉块授于合蕊柱顶部却不会结实，只有将花粉块通过花药裂口插入柱头腔才能受精结实。通过人工辅助授粉试验结合对传粉昆虫传粉行为的观察证明了传粉的过程。昆虫在采食花蜜的过程中，其脚或口器通常会伸入角质的花药裂口，由于花药裂口的上部与着粉腺部分地搭在一起 (图1：F，G)，传粉者从花的顶部吸取蜜汁，当口器缩回时就会被卡在着粉腺的槽沟里，同样，当传粉者转动位置时其脚也会进入花药裂口和着粉腺的槽沟里，传粉者离开的时候，整个花粉块就会被从花粉囊中拔出并带走。昆虫口器和脚上的任何附属物只要能插入着粉腺的槽沟里都会成为花粉块在口器上的附着位置。在一只蜜蜂的口器上有时能见到带4个花粉块的情况 (图1：H)，但大多数蜜蜂只携带1～2个花粉块。

当传粉昆虫携带花粉块访问另外一朵花时，尤其是当落在花上的时候，昆虫用足抓住副花冠并沿着副花冠顶部的开口处将其口器插入花基部吸取蜜汁，在这个过程中昆虫口器上的花粉块就会进入稍有些扩大的花药裂口的下部，当昆虫离开的时候，花粉块被沿着花药裂口向上拉，直到在花药裂口的顶部碰到花药裂口上部的着粉腺 (图1：I) 时，转运臂断裂从而将花粉块留在柱头腔中，从图1：J中可看出青阳参的花粉块几乎填满了柱头腔的上面部分。另外位于花药裂口处的刺毛 (图1：K) 还有将花粉块固定阻止其进一步移动的作用。当花粉块被插入柱头腔时标志着一次传粉过程的结束。

根据对人工辅助授粉的花进行连续切片观察，发现大量的花粉管在柱头腔中萌发并穿入两个柱头的连接处 (图1：J)，然后沿着其中一个子房的花柱道向下生长进入子房，也有少数存在大多数花粉管进入与其相邻的一个子房而少数花粉管进入另一个子房的情况。在子房内，花粉管沿着胚珠表面生长最后进入珠孔 (图1：L) 从而实现受精。

3　讨论

3.1　花部综合征对传粉模式的适应

从青阳参的花部特征看，其表现出对虫媒传粉的适应性：有水果味的蜜汁分泌以吸引昆虫传

粉；有大量的花粉被包裹形成花粉块，且花粉块插入花粉囊中，因而不容易被风吹走，只有当一些细的物体如昆虫的附属物等插入着粉腺才能拔出并带走花粉块。因此，青阳参为虫媒传粉植物，这与我们在野外进行套袋实验检测其繁育系统的结果一致。Ollerton and Liede (2003) 根据副花冠与合蕊柱的关系将鹅绒藤属植物的花划分为三类：全开 (如 *C. graminiforme*)、半关闭 (如 *C. baroni*) 和全关闭 (如 *C. decaryi* 和 *C. junciforme*)。青阳参的花虽顶部高出合蕊柱但仅副花冠的基部包裹合蕊柱，因此不属于上述任何类型，而且花药裂口处长有刺毛，在其它文献中还未见报道过。象大多数萝　科植物一样 (Wyatt, 1994)，青阳参的花粉块只有插入柱头腔才能实现受精结实。

许多虫媒植物花的形态构造发生种种特化以适应昆虫的采访，特别是适应某些昆虫种类的采访和防止其他昆虫种类的采访，从而避免了传粉的机遇性，提高了传粉效果 (刘穆，2001)。由于青阳参的花粉块必须要有形态、大小都与其着粉腺的槽口相适应的昆虫附属物插入，且昆虫还必须有足够的力量才能将花粉块拔起并带走，因此，体型较大的昆虫如胡蜂等在形态上不适于青阳参传粉，而较小的昆虫如甲虫、蚂蚁、金龟子和苍蝇等则存在形态上不适应和没有足够的力量将花粉块拔起的可能，常常会见到一些较小昆虫的足被挣断下来留在花里的情况，Volovnik (1982) 曾在 *C. acutum* 中报道过相似的情况。在鹅绒藤属植物中，虽然大多报道认为传粉者主要集中在胡蜂科、土蜂科和姬蜂科，而在 *C. adalinae* subsp. *adalinae* 中则首次报道了专门由蜜蜂传粉的现象 (Ollerton and Liede, 2003)，青阳参的主要传粉昆虫为东方蜜蜂，这与两者花的大小 (最大直径约 10 mm) 相近有关。因此，青阳参坐果率低可能与其花的特殊结构导致传粉效率较低有关，若在青阳参种植基地饲养东方蜜蜂可有望提高其坐果率。

3.2　花粉 胚珠比 (P O)

青阳参花粉 胚珠比也比较低，依据 Cruden (1976) 以花粉 - 胚珠比 (P O) 评判繁育系统的标准，繁育系统应该在闭花受精和专性自交之间，而我们在进行套袋实验检测其繁育系统时发现，青阳参象其它大多数萝　科植物 (Wyatt 等, 2000) 一样是以异交为主的植物，且很多萝　科植物还存在自交不亲和性。因此，Wyatt 等 (2000) 认为萝　科植物以及其它具有粘合花粉的植物对于 Cruden (1976) 认为花粉 胚珠比可作为“繁育系统判定的一个指标”是一个明显的例外。

3.3　花粉活力和柱头可授性

青阳参的花粉在花凋谢前一直保持有较高的生活力，这与其花粉块的特殊结构有关。Morse (1982, 1987) 认为萝　科植物由于具有耐久的膜包裹着花粉块，使得其花粉能够较长时间地保持活力，并能使花粉块扩散较长的距离，花粉块只有在离开花时由于干燥才会逐渐失去活力，花粉活力似乎不随着花的衰老而显著降低。Eisikowitch 等 (1987) 也在 *Asclepias syriaca* 中发现其花粉在自然条件下至少 4 d 内都能保持较高活力的情况。在有关萝　科植物柱头可授性的报道中，Morse (1987) 报道了 *A. syriaca* 在 5 d 的花期中柱头可授性降低了 75%，并认为萝　科植物的花粉保持较长而稳定的活力和柱头可授性的逐渐降低使得花随着花龄的增加而变得更雄性化 (male-like)。青阳参在整个花期中花粉活力较高和柱头可授性较强，虽然柱头可授性减弱的幅度不象在 *A. syriaca* 中那样剧烈，但总体趋势却与之相似，可能是对其传粉效率较低的一种适应。

3.4　柱头腔和子房的联系

Sage 等 (1990) 认为萝　科植物花的 5 个柱头腔和 2 个心皮并不都相连着，其中 3 个相邻柱头腔里的花粉管向一个心皮生长，而另外 2 个相邻柱头腔里的花粉管向另一个心皮生长，Woodson (1954) 也曾在 *Asclepias* L. 中作过类似猜测。而 Morse (1993) 在 *A. syriaca* 中曾报道过同一个柱头腔插入的花粉块使 2% 的花形成双生果。根据对人工辅助授粉的花进行连续切片的观察结果，青阳参的花粉管大都只进入其中一个子房，少数花粉管进入另一个子房，说明青阳参花的结构可能与 Sage 等研究的花在结构上有差异而与 *A. syriaca* 花的结构可能有某种相似性。在自然条件下我们也观察到大多数花只有 1 个心皮发育成果实而另一个心皮败育，形成双生果的情况较少，这与青阳参花的特殊结构和传粉方式有关。

致谢 昆明学院生物系王德斌副教授鉴定昆虫种类。

[参 考 文 献]

黄双全, 郭友好, 2OO0 . 传粉生物学的研究进展 [J] . 科学通报, 45 (3): 225—237

刘穆, 2001 . 种子植物形态解剖学导论 [M] . 北京: 科学出版社, 288—290

罗天诰主编, 1994 . 森林药物资源学 [M] . 北京: 国际文化出版公司出版, 79

Barrett SCH, 1998 . The evolution of mating strategies in flowering plants [J] . *Trends in Plant Science*, 3: 335—341

Campbell DR, Halama KJ, 1993 . Resource and pollen limitations to lifetime seed production in a natural plant population [J] . *Ecology*, 74: 1043—1051

Cruden RW, 1976 . Intraspecific variation in pollen-ovule ratios and nectar secretion-preliminary evidence of ecotypic variation [J] . *Annals of Missouri Botanic Garden*, 63 (2): 277—289

Dafni A, 1992 . Pollination Ecology [M] . New York: Oxford University Press

Eisikowitch D, Kevan PG, Fowle S *et al.*, 1987 . The significance of pollen longevity in *Asclepias syriaca* under natural conditions [J] . *Pollen Spores*, 29: 121—128

Hu SY (胡适宜), 1993 . Experimental methods in plant embryology (I) Determination of pollen viability [J] . *Chinese Bulletin of Botany* (植物学通报), 10 (2): 60—62

Lai JY (赖家业), Pan CL (潘春柳), Qin WG (覃文更) *et al.*, 2007 . The floral syndrome and its pollination adaptability in *Kmeria septentrionalis* (Magnoliaceae) [J] . *Acta Botanica Yunnanica* (云南植物研究), 29 (3): 303—308

Morse DH, 1982 . The turnover of milkweed pollinia on bumbles, and implications for outcrossing [J] . *Oecologia*, 53: 187—196

Morse DH, 1987 . Roles of pollen and ovary age in follicle production of the common milkweed *Asclepias syriaca* [J] . *American Journal of Botany*, 74: 851—856

Morse DH, 1993 . The twinning of follicles by common milkweed *Asclepias syriaca* [J] . *The American Midland Naturalist*, 130: 56—61

Ollerton J, Liede S, 2003 . Corona structure in *Cynanchum*: linking morphology to function [J] . *Ecotropica*, 9: 107—112

Sage TL, Broyles SB, Wyatt R, 1990 . The relationship between the five stigmatic chambers and the two ovaries of milkweed flowers: a three-dimensional assessment [J] . *Israel Journal of Botany*, 39: 187—196

Volovnik S, 1982 . On biocoenotic relations between *Cynanchum acutum* and some insects [J] . *Zhurnal Obshchei Biologii*, 43: 729—731

Woodson RE, 1954 . The North American species of *Asclepias* L . [J] . *Annals of the Missouri Botanical Garden*, 41: 1—211

Wyatt R, 1994 . Ecology and evolution of reproduction in milkweeds [J] . *Annual Review of Ecology & Systematics*, 25: 423—441

Wyatt R, Broyles SB, Lipow SR, 2000 . Pollen-ovule ratios in milkweeds (Asclepiadaceae): an exception that probs the rule [J] . *Systematic Botany*, 25 (2): 171—180